

SISTEMA INTEGRADO PARA O CONTROLE DE FLUXO DE POTÊNCIA ENTRE VEÍCULO ELÉTRICO, REDE ELÉTRICA PÚBLICA E RESIDÊNCIA

Lucas S. S. Pelegrino, Marcelo L. Heldwein, Gierry Waltrich
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis - SC, Brasil
e-mail: lsspelegrino@gmail.com, marcelo.heldwein@ufsc.br, gierry.waltrich@ufsc.br

Resumo – Esse artigo propõe um sistema, externo ao Veículo Elétrico (VE), capaz de adicionar funcionalidades de *Vehicle-to-Home* (V2H) e *Vehicle-to-Grid* (V2G) ao VE através do uso dos terminais da bateria disponíveis em um conector combo comercial. No caso do sistema proposto, esses terminais seriam usados para retirar energia dos veículos e entregá-la à rede ou manter a tensão na residência em caso de falta de energia. Esta configuração elimina a necessidade de conversores bidirecionais internos ao VE, reduzindo peso, custo e complexidade, adicionando também a possibilidade de integrar geração de energias renováveis locais. Para validar o conceito do sistema, são desenvolvidos o projeto e a simulação do sistema completo, assim como a construção dos conversores CC-CC utilizados no teste de um sistema de 2 kW, integrando os vários conversores de potência necessários.

Palavras-Chaves – Conversores CC-CC, Full-bridge ZVS, Vehicle-to-grid, Vehicle-to-home.

ENERGY MANAGEMENT SYSTEM FOR ELECTRIC VEHICLE, RESIDENCE AND PUBLIC ELECTRIC NETWORK CONTROL

Abstract – This paper proposes a system, external to the Electric Vehicle (EV), capable of adding Vehicle-to-Home (V2H) and Vehicle-to-Grid (V2G) functionality by using the available battery terminals in a combo connector. This configuration eliminates the need of on-board EV bidirectional inverters, reducing weight, cost and complexity, while adding the possibility of integrating local renewable energy generation. In order to validate the concept of the system, design and simulation of the proposed system were carried out and a prototype of 2 kW was built.

Keywords – Dc-dc converters, Full-bridge ZVS Phase-shift, Vehicle-to-grid, Vehicle-to-home.

I. INTRODUÇÃO

Diante da expansão de veículos elétricos e uma crescente necessidade de armazenamento de energia, os conceitos de "*Vehicle-to-Grid*" (V2G) e "*Vehicle-to-Home*" (V2H) [1], [2] podem se tornar viáveis e trazer benefícios para geração distribuída de energia [3], ainda mais quando considera-se

que veículos particulares ficam estacionados 96% de sua vida útil [4] favorecendo a ideia de que suas baterias possam ser utilizadas como armazenamento.

Analisando o contexto de sistemas de conexão de veículos elétricos na rede, faz-se a necessidade de diferenciar os tipos de conexões possíveis entre veículo elétrico e rede e suas definições e características. No contexto desse trabalho, serão apresentados dois conceitos principais: *Vehicle-to-Home* (V2H) e *Vehicle-to-grid* (V2G) [2].

Vehicle-to-home diz respeito à capacidade de um veículo elétrico de se conectar à rede elétrica doméstica fornecendo e recebendo energia. Geralmente, este processo envolve um único veículo, podendo ser utilizado para aliviar picos de carga de uma residência, manter o funcionamento ilhado em caso de falta de energia e melhorar a efetividade de energias renováveis instaladas nas residências.

Vehicle-to-grid diz respeito à capacidade de um veículo elétrico em se conectar com a rede elétrica fornecendo e recebendo energia. Esse conceito aplica-se em um nível mais alto que o V2H, requerendo controle e regulação dos operadores e envolvendo diversos veículos elétricos ou agregadores de veículos elétricos. Adicionalmente, é possível aproveitar a capacidade V2H de diversos veículos conectados à rede para operação em V2G.

A Figura 1 expõe diferentes maneiras de como esses conceitos podem ser utilizados em uma rede de distribuição.

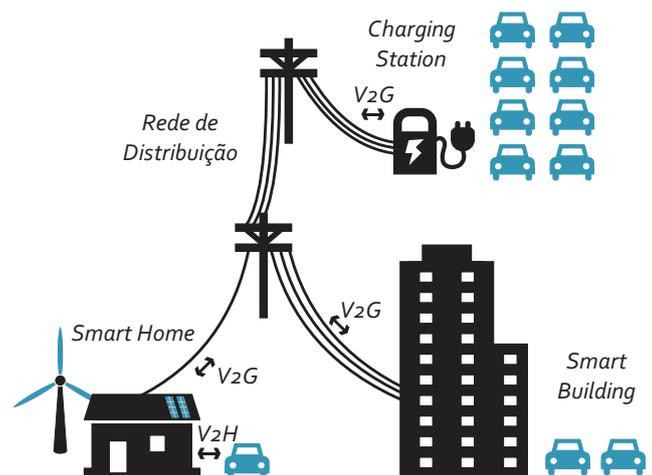


Fig. 1 - Esquema de uma rede de distribuição integrada com sistemas *Vehicle-to-Home* e *Vehicle-to-Grid*.

No contexto de tecnologias V2H, sistemas de eletrônica de potência bidirecionais internos ao veículo elétrico são comandados a entregar energia à rede, manter a tensão na residência e compensar potência reativa [5]. Por exemplo, [5] é apresentado um carregador bidirecional de 3,5 kW, composto de um conversor CA-CC ponte completa ligado a

Artigo submetido em 19/02/2019. Primeira revisão em 01/04/2019. Aceito para publicação em 12/06/2019 por recomendação do Editor Marcello Mezaroba. <http://dx.doi.org/10.18618/REP.2019.3.0011>

um conversor CC-CC *buck-boost* bidirecional, para manter a tensão em caso de falta de energia.

Pode-se citar também os trabalhos de [6], [7] ao qual apresentam conversores bidirecionais para sistemas do tipo V2G. Contudo, a implementação de conversores do tipo bidirecional fica a cargo dos fabricantes de veículos elétricos, adicionando custo e complexidade ao produto final.

Assim, visto que ainda existe uma demanda muito grande por conversores unidirecionais e que esta demanda irá continuar a existir devido ao baixo preço, menor volume e complexidades dos conversores, avanços em carregadores de baterias unidirecionais serão benéficas, principalmente para a indústria automobilística nacional onde, existe pouco desenvolvimento científico relacionado a este tema atualmente. Dessa forma, propõe-se um sistema *V2H* capaz de atuar injetando corrente na rede e manter uma rede isolada em caso de falta, mesmo que internamente os VEs disponham apenas de conversores unidirecionais. No caso do sistema proposto, esses terminais das baterias seriam utilizados para retirar energia dos veículos e entregá-la à rede ou manter a tensão na residência em caso de falta de energia na rede elétrica pública.

Outra vantagem do sistema proposto é a possível redução e simplificação dos conversores utilizados internamente nos VEs, visto que a injeção de energia na rede elétrica se dá através de um conversor paralelo estacionário na residência.

II. SISTEMA PROPOSTO

O sistema proposto é dividido em dois subsistemas distintos: o carregador de baterias interno ao veículo elétrico e o sistema de conexão veicular externo ao veículo. O primeiro subsistema é utilizado para carregar de forma lenta a bateria do VE e o subsistema externo processa a energia da bateria do veículo e a entrega para a rede ou para as cargas residenciais em caso de falta. A Figura 2 mostra um esquema do sistema, realçando os subsistemas unidirecionais.

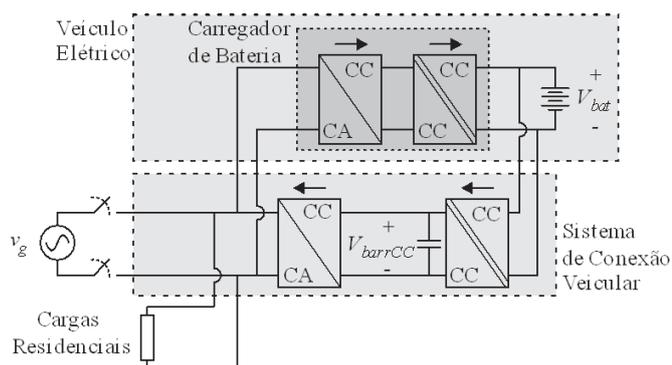


Fig. 2 - Sistema proposto com dois subsistemas unidirecionais.

Considerando os trabalhos analisados na literatura acadêmica e industrial, foi proposto um sistema compatível com o padrão de conectores do tipo combo, onde existe uma conexão CC nos terminais da bateria e também nos terminais CA da rede elétrica. Nesses conectores, uma conexão direta (em corrente contínua) com a bateria está disponível para o eventual carregamento rápido. O padrão de indústria SAE J1772 contempla variantes com conexões CC à bateria para carregamento rápido [8]. No caso do sistema proposto, esses

terminais seriam usados para retirar energia dos veículos e entregá-la à rede ou manter a tensão na residência em caso de falta.

As vantagens desse tipo de arranjo frente às estruturas bidirecionais embarcadas ao veículo é que tais estruturas são geralmente mais caras, volumosas e suscetíveis a falhas, adicionando massa e complexidade ao veículo elétrico [1], [2], [10]. Além disso, a utilização de estruturas externas ao veículo, como proposto neste artigo, pode levar ao desenvolvimento de sistemas *V2H* independentemente dos fabricantes de veículos, possibilitando uma gama diversa de produtos e uma customização para diferentes situações, oferecendo opções para o consumidor final.

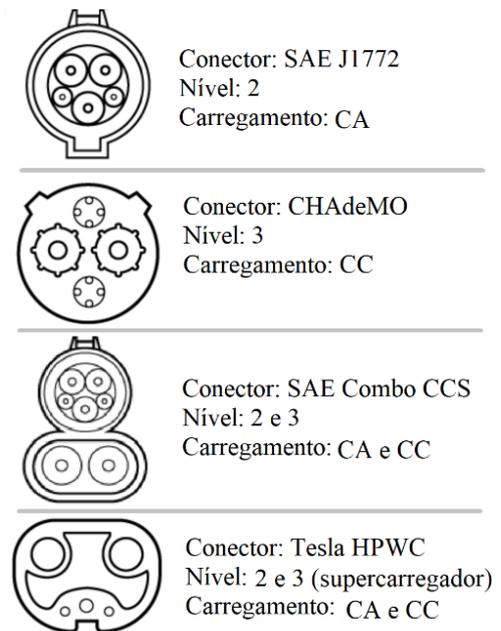


Fig. 3 - Tipos de conectores comerciais [9].

Com o intuito de uma possível expansão, foi criado um barramento CC (ver o barramento V_{barrCC} na Figura 2), onde possam ser conectados sistemas provenientes de geração local de energias renováveis, como painéis solares e aerogeradores de pequeno porte. No sistema, como apresentado neste artigo, pode ainda ser implementado um banco de baterias adicional ao link CC, para garantir energia caso ocorra uma falta de energia e o veículo não esteja na residência, garantido assim, continuidade da energia elétrica na residência.

Em relação ao controle e comunicação, o sistema deve ser capaz de se comunicar com o sistema de carregamento do veículo, podendo controlar a carga da bateria do VE através do conector CA e fornecer energia para a rede elétrica através do conector CC, assim como, obter informações em relação ao estado de carga da bateria. Tais exigências são contempladas pelo padrão de comunicação do conector SAE Combo CCS apresentado na Figura 3 [8], [9].

O monitoramento da rede elétrica também deve ser feito com intuito de detecção de faltas. Finalmente, uma conexão com uma rede de telecomunicações para uma possível tomada de decisão em relação a preços de energia e ao uso do modo *V2G* também deve ser planejada.

Apesar da existência de outros tipos de conectores, neste trabalho será analisado apenas o conector do tipo SAE Combo CCS para prova de conceito.

O diagrama exposto na Figura 4 resume as características gerais do sistema proposto nesse trabalho. A direção do fluxo de potência é representada pelas setas do diagrama. Para facilitar o entendimento do momento das mudanças dos modos de operação, é apresentado na Figura 5 um fluxograma contendo estado de carga da bateria do VE, estado da rede elétrica de entrada e referência de potência.

A carga foi conectada diretamente no filtro de saída do inversor para que no momento de carregamento no modo isolado, isto é, quando não tem rede elétrica, ocorra a abertura de um relé (apresentado na Figura 4) para desconectar a rede. Pois quando a rede retornar deve haver uma garantia de sincronismo da rede antes de ocorrer a reconexão com a rede elétrica.

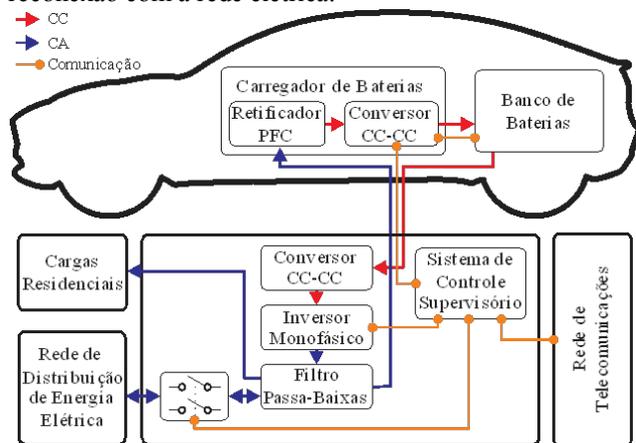


Fig. 4 - Diagrama do sistema proposto.

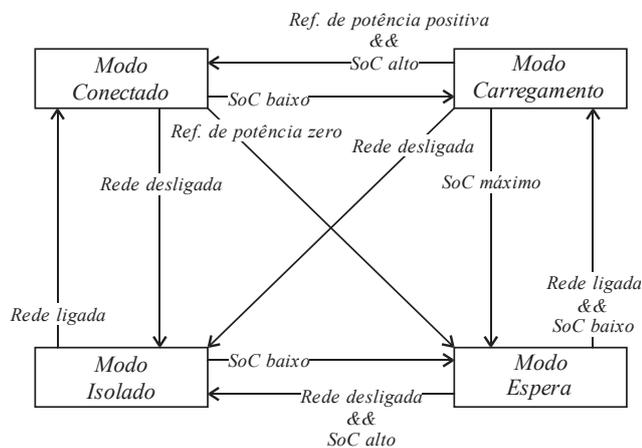


Fig. 5 – Fluxograma de operação do sistema proposto.

Os modos de operação do sistema podem ser divididos em três, como apresentados na Figura 6. No modo de carregamento, apresentado pela Figura 6.a, o carregador de bateria interno ao veículo elétrico faz a carga lenta da bateria e a rede elétrica fornece energia tanto para o carregamento quanto para alimentar as cargas residenciais. No modo conectado, apresentado na Figura 6.b, há a transferência de energia da bateria para a rede, e o inversor injeta corrente na rede, que é dividida entre a rede e as cargas residenciais. O modo isolado, apresentado na Figura 6.c, acontece quando há

uma falta na rede, assim, o sistema de conexão veicular abastece as cargas residenciais, mantendo a tensão CA.

Como o foco da aplicação é em sistemas residenciais, assume-se uma conexão monofásica com a rede de distribuição em baixa tensão. Assim, pode-se considerar uma rede com tensão eficaz de 220 V e frequência 60 Hz, compatíveis com os níveis em Santa Catarina [11].

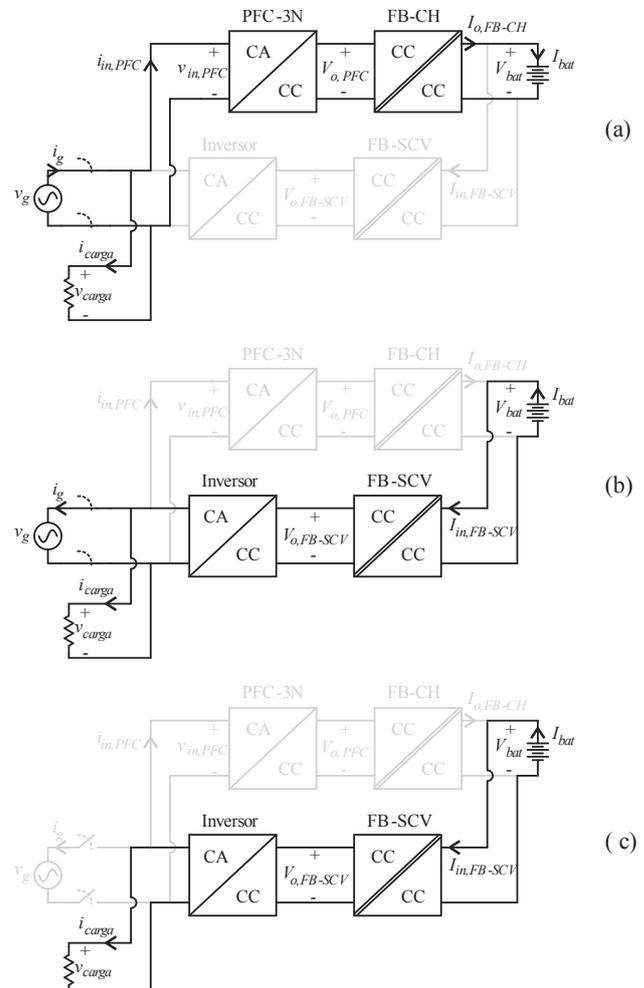


Fig. 6 - Modos de operação do sistema proposto: (a) Carregamento do veículo, (b) Modo conectado, (c) Modo isolado.

No que diz respeito às baterias de veículos elétricos comerciais, pode-se citar o Tesla Roadster EV, com um banco de baterias de 53 kWh [10], o Nissan Leaf, com um banco de baterias de 360 V nominal e 24 kWh [12] e o Mitsubishi i-MiEV, com um banco de baterias de 330 V e 16 kWh [13].

No sistema construído, optou-se por um banco de baterias de íons de lítio, composto pela associação em série de 11 módulos de 24 V do fabricante *Beckett Energy Systems*. O banco de baterias utilizado, tem capacidade de 12,1 kWh em plena carga e uma variação de tensão de 231 V a 315 V, com a tensão nominal em 264 V [14].

Comparando com modelos de veículos comerciais, observa-se que os níveis de tensão e de energia armazenada do banco de baterias utilizados no trabalho proposto estão abaixo do usado comercialmente, contudo a ordem de magnitude da tensão é relativamente próxima e suficiente para um estudo inicial e prova de conceito. Como as

potências manipuladas pelo sistema serão relativamente baixas (abaixo de 2kW), não houve preocupação com a capacidade da bateria.

Considerando o consumo médio residencial brasileiro de 158 kWh/mês [15], o banco de baterias consegue suprir o consumo médio de uma residência por dois dias.

Para o sistema externo ao veículo, propõe-se uma conversão em dois estágios com intuito de criar um barramento CC onde poderiam ser conectadas fontes de geração renovável, cargas CC ou um banco de bateria externo, aumentando a complexidade e adicionando funcionalidades ao Sistema de Conexão Veicular (*Electric Vehicle Supply Equipment - EVSE*). Ao considerar a conexão do inversor monofásico com a rede CC, propõe-se um barramento CC de 380 V, suficiente para impor a tensão 220 V de valor eficaz na saída do inversor e injetar energia na rede elétrica.

Considerando a aplicação residencial, espera-se que um veículo elétrico com carregador de bateria monofásico drene 1,9 kW em uma rede elétrica com carregamento lento de 11 a 36 horas, como sugerem [1], [22].

O carregamento de uma bateria de íons de lítio é comumente realizada em duas etapas; primeiramente com corrente constante e, a partir do momento em que a tensão da bateria atinge seu valor máximo, em tensão constante [16]. Esse método de carregamento é chamado na literatura de CC-CV (*constant-current constant-voltage*).

III. TOPOLOGIAS UTILIZADAS NO SISTEMA

Com os níveis de tensão e potência estabelecidos, discute-se as características e topologias utilizadas para a realização do sistema de potência.

O subsistema de carregamento de bateria interno ao veículo elétrico exige volume e peso reduzidos. Sua conexão com a rede elétrica deve drenar corrente com baixa distorção e com um alto fator de potência. Adicionalmente, por questões de segurança, é preferível utilizar conversores isolados da rede [10].

Dessa forma, optou-se por utilizar uma solução em dois estágios no subsistema de carregamento, comumente utilizada na literatura [10], utilizando um retificador *PFC* monofásico *PWM bridgeless* três-níveis [18] que garante alto fator de potência na entrada e um conversor *full-bridge ZVS phase shift* CC-CC [19] que por sua vez assegura o isolamento galvânico entre rede e bateria e controla a carga da bateria.

Para o sistema de conexão do veículo com a rede elétrica, considera-se o uso de um inversor em ponte completa (ver inversor na Figura 6 já consolidado na literatura e indústria [20]). Este conversor tem capacidade suficiente para injeção de corrente na rede e na atuação como fonte em corrente alternada para cargas residências no momento de falta de energia.

Para criar o barramento CC ($V_{o,FB-SCV}$ na Figura 6) necessário ao inversor, foi utilizado um conversor *Full-bridge ZVS phase shift* CC-CC (FB-SCV), garantindo a isolação galvânica com a rede. Este barramento CC também deve suportar uma possível expansão do sistema, integrando geração local de energias renováveis neste ponto. Um filtro

de entrada foi adicionado, a fim de evitar componentes CA de alta frequência na corrente de saída da bateria.

A Figura 6 mostra um diagrama de blocos do sistema de potência com os conversores utilizados e nas Figuras 7 a 9 são apresentadas as topologias detalhadas de cada bloco conversor do sistema completo de potência. O conversor PFC-3N já se encontrava montado em laboratório e dessa forma foi apenas utilizado nos experimentos, sem a necessidade de reprojeter este conversor.

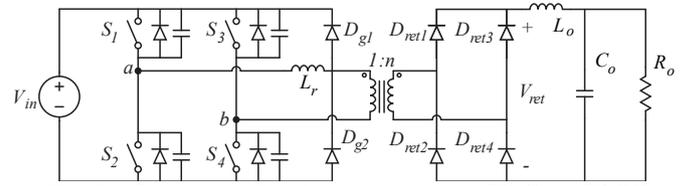


Fig. 7 – Topologia utilizada nos conversores FB-CH e FB-SCV.

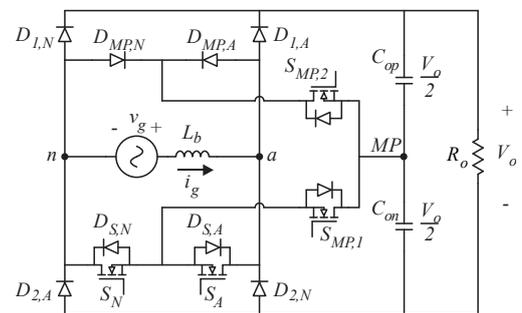


Fig. 8 – Topologia utilizada no conversor PFC-3N.

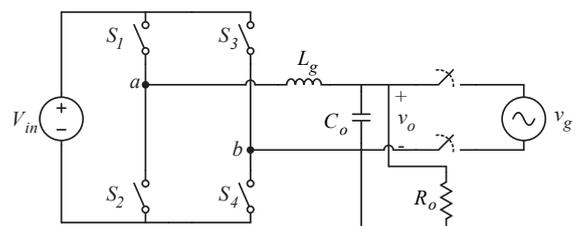


Fig. 9 – Inversor conectado à rede elétrica.

IV. SIMULAÇÕES DO SISTEMA OPERACIONAL

Para validar o sistema proposto, simulações numéricas são realizadas com o software PSIM (versão 9.0), considerando os modos de estado do sistema principal. Os parâmetros utilizados nas simulações são mostrados na TABELA I. A metodologia de projeto pode ser encontrada em detalhes em [21]. Nesta simulação todo o sistema foi projetado para ser capaz de processar uma potência de 2 kW, em todos os modos, ou seja, V2H, V2G e modo de carregamento normal (da rede para o VE e a carga residencial). Na simulação apresentada foi considerada a tensão de bateria de 300V, uma carga CA resistiva equivalente à metade da potência nominal e a referência de potência para injeção na rede igual a potência nominal, ou seja, 2 kW.

Segundo o fabricante [14], recomenda-se uma corrente de carga de 0,5 C, ou seja, metade da corrente necessária para descarregar a bateria em uma hora, equivalente a 21,2 A. Para o sistema proposta foi definido um carregamento com 0,15 C, aproximadamente 6,36A, o que resultaria em um tempo de carregamento de 6,67 horas. Assim, um sistema

capaz de processar em torno de 2 kW foi projeto, visto que a bateria utilizada no sistema proposto foi simulado para 300V de tensão na bateria.

Os resultados da simulação são mostrados nas Figuras 11 a 14 para diferentes transições de modos. Nas Figuras 11 e 12 são apresentadas as formas de onda de tensão e corrente na rede e na carga e corrente na bateria do sistema completo na transição entre o modo de carregamento e o modo isolado. A transição ocorre em 3,8 segundos no gráfico. Percebe-se que a corrente cresce em rampa no carregamento da bateria para iniciar o carregamento da bateria de forma suave evitando estresses adicionais nos semicondutores e baterias. Quando ocorre uma falta na rede elétrica, a carga da bateria é interrompida imediatamente, e após alguns ciclos de rede a tensão de barramento $V_{o,FB-SCV}$ (Figura 6) como a crescer em rampa até que atinja um valor próximo ao nominal para que o inversor conectado à rede possa ser iniciado sua operação, como apresentado na Figura 12 no intervalo entre 4 a 8 segundos no último gráfico. A taxa de crescimento da rampa de carga da bateria e do barramento $V_{o,FB-SCV}$ e número de ciclos para reconexão com a rede elétrica podem ser redefinidos de acordo com os critérios especificados pelo projetista.

Para a transição entre o modo de carregamento e o modo conectado, isto é, quando a rede elétrica ainda está disponível

TABELA I - Parâmetros do Sistema

Rede e parâmetros da bateria	
Tensão eficaz da rede ($V_{g,ef}$)	220 V
Frequência da rede (f_g)	60 Hz
Tensão nominal do banco de baterias (V_{bat})	264 V
Faixa de tensão do banco de bateria ($V_{var,bat}$)	231 a 315 V
Retificador PFC PWM bridgeless três-níveis (PFC-3N)	
Tensão eficaz de entrada ($V_{in,PFC}$)	220 V
Tensão de saída ($V_{o,PFC}$)	380 V
Frequência de comutação ($f_{s,PFC}$)	140 kHz
Potência nominal ($P_{nom,PFC}$)	3 kW

Full-bridge ZVS phase shift CC-CC carregador (FB-CH)	
Tensão de entrada ($V_{in,FB-CH}$)	380 V
Tensão de saída ($V_{o,FB-CH}$)	231 a 315 V
Potência nominal ($P_{nom,FB-CH}$)	2 kW
Corrente de saída ($I_{o,FB-CH}$)	6,335 A
Frequência de comutação ($f_{s,FB-CH}$)	100 kHz
Full-bridge ZVS phase shift CC-CC conexão veicular (FB-SCV)	
Tensão de entrada ($V_{in,FB-SCV}$)	231 a 315 V
Tensão de saída ($V_{o,FB-SCV}$)	380 V
Potência nominal ($P_{nom,FB-SCV}$)	2 kW
Frequência de comutação ($f_{s,FB-SCV}$)	100 kHz
Inversor Monofásico em Ponte Completa	
Tensão do barramento CC ($V_{in,Inversor}$)	380 V
Tensão eficaz da rede ($V_{out,Inversor}$)	220 V
Frequência de comutação ($f_{s,Inversor}$)	50 kHz
Potência nominal ($P_{nom,Inversor}$)	2 kW

V. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Pelo fato do inversor escolhido para o sistema estudado neste artigo, possuir uma topologia e modulação bem conhecidas na literatura, optou-se por omitir os seus resultados experimentais. Uma carga resistiva de 72 Ω foi inserida no barramento CC, drenando em torno de 2 kW. A Figura 10 mostra um esquema do sistema proposto em teste e as Figuras 15 e 16 mostram as instalações usadas para os testes.

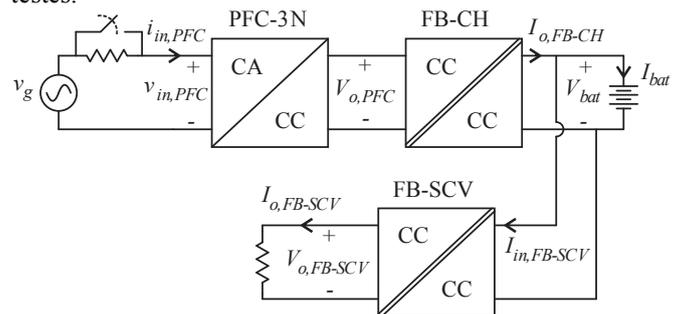


Fig. 10 – Esquema do sistema testado.

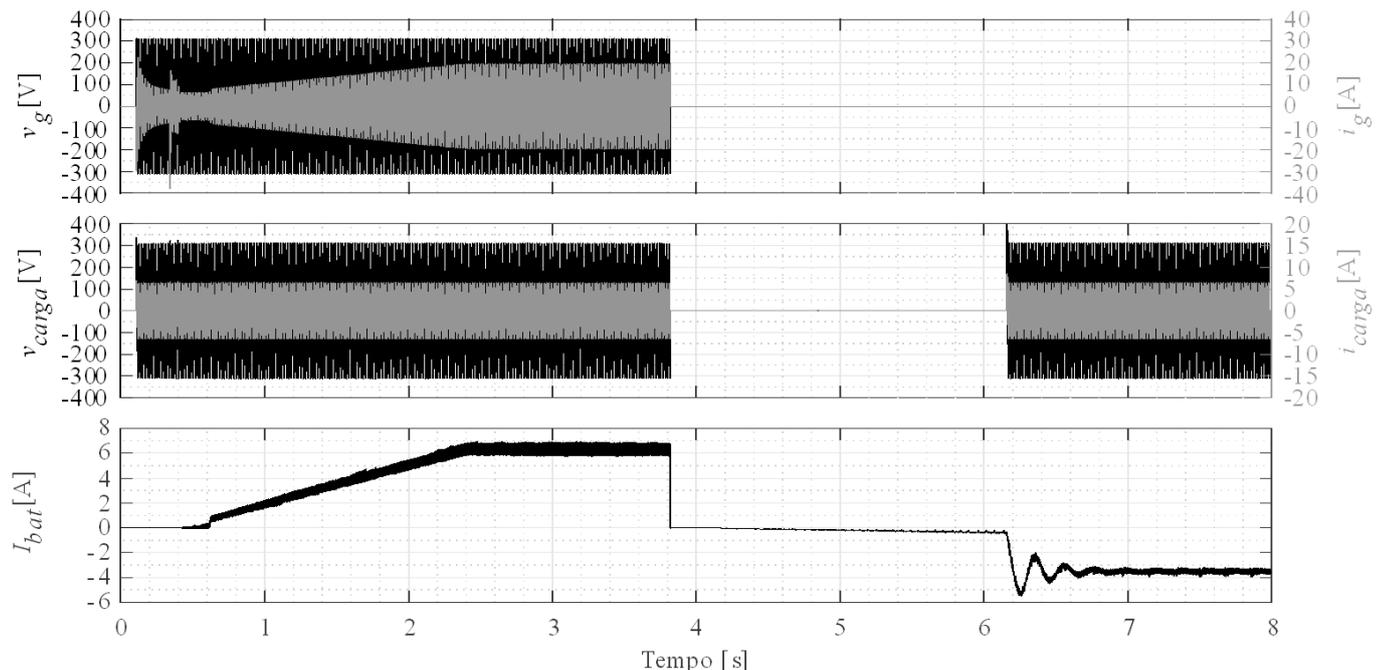


Fig. 11 - Formas de onda simuladas de tensão e corrente: na rede elétrica, na carga e na corrente na bateria do VE. Transição entre o modo de carregamento e o modo isolado.

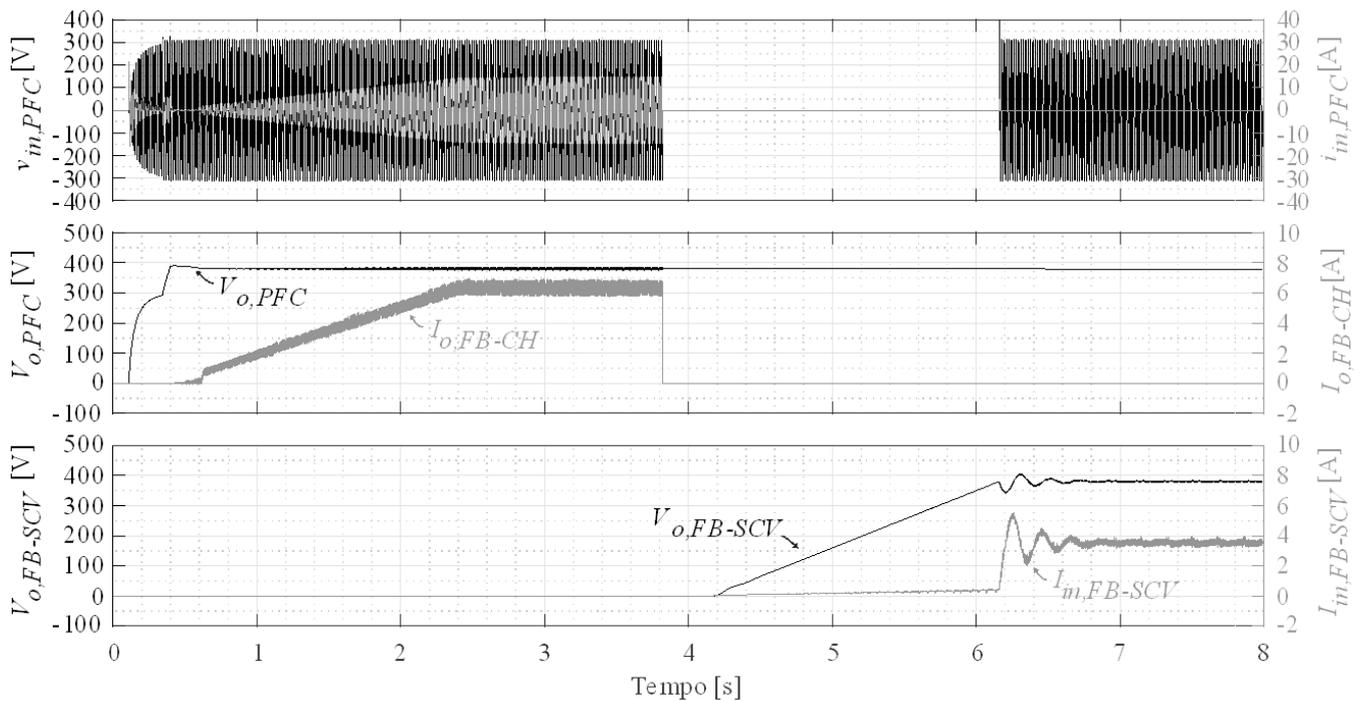


Fig. 12 - Formas de onda simuladas de tensão e corrente: nos conversores. Transição entre o modo de carregamento e o modo isolado.

Na ocasião dos ensaios feitos, somente 10 bancos de baterias estavam disponíveis para uso, limitando a variação de tensão de 210 V a 287 V, com valor nominal de 240 V. Por esse motivo, foi utilizado um conversor bidirecional entre os conversores projetados e o banco de bateria. O conversor intermediário foi configurado para manter a tensão em 300 V e todos os ensaios apresentados foram feitos considerando essa tensão de operação.

Nas Figuras 17 e 18 são apresentadas as formas de onda experimentais do subsistema de carregamento. As formas de onda são semelhantes àquelas simuladas, também

apresentando a ondulação de 120 Hz na corrente de saída, devido à baixa frequência de corte do controle.

A Figura 19 mostra a partida em rampa do conversor *full-bridge ZVS phase-shift SCV*. Percebe-se que a corrente de entrada do conversor foi filtrada, restando somente a sua componente média. Finalmente, a Figura 20 apresenta a transição do carregamento e a partida do conversor *full-bridge ZVS phase-shift SCV*, emulando a entrada no modo conectado ou modo isolado. Como não foi utilizado um inversor não foi observada a oscilação de frequência de 120 Hz na corrente de saída da bateria.

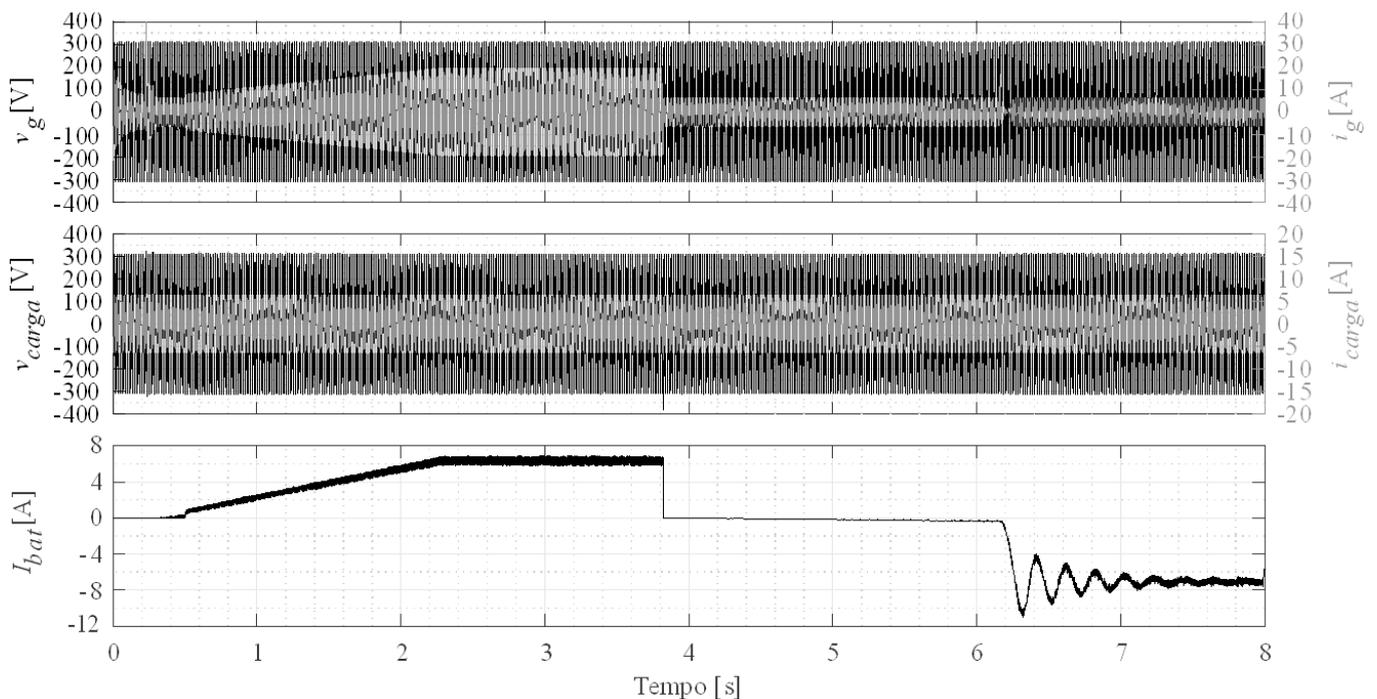


Fig. 13 - Formas de onda simuladas de tensão e corrente nos conversores utilizados do sistema completo na transição entre o modo de carregamento e o modo conectado.

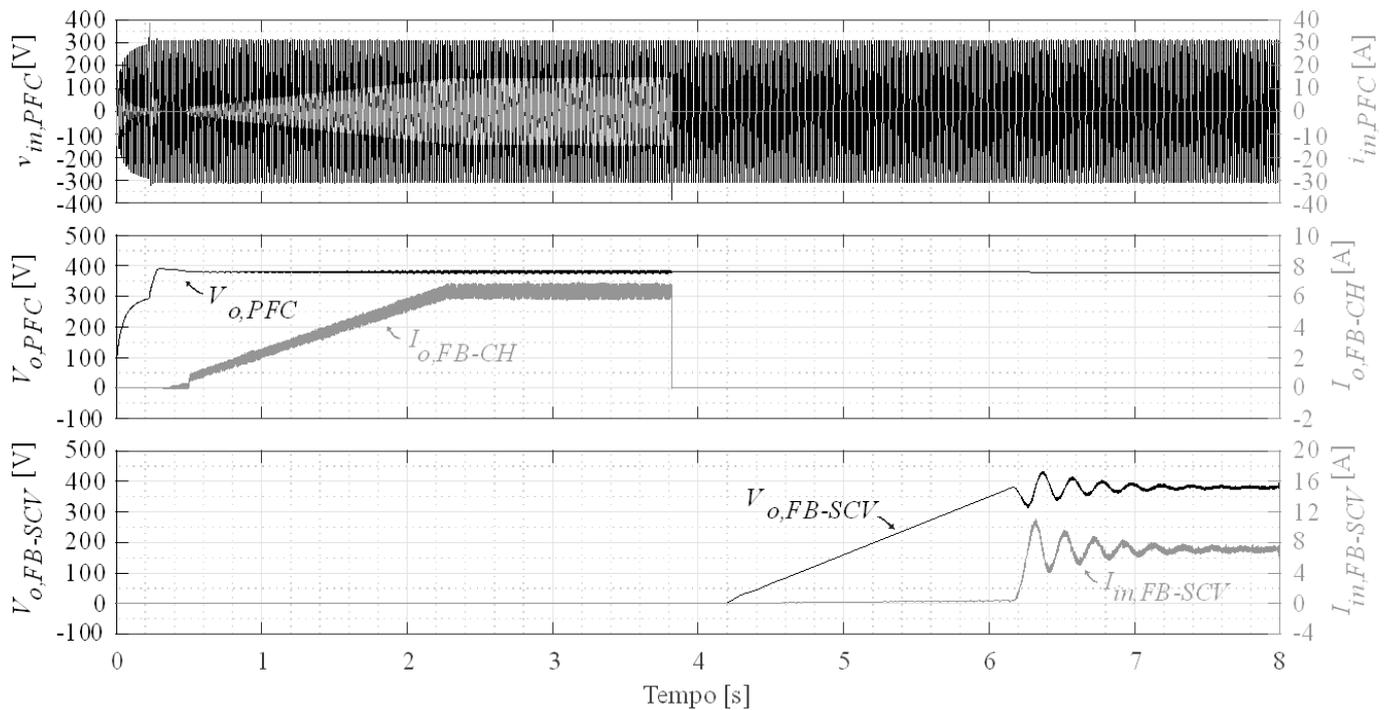


Fig. 14 - Formas de onda simuladas de tensão e corrente nos conversores utilizados do sistema completo na transição entre o modo de carregamento e o modo conectado.



Fig. 15 - Instalação usada pra os testes dos protótipos.

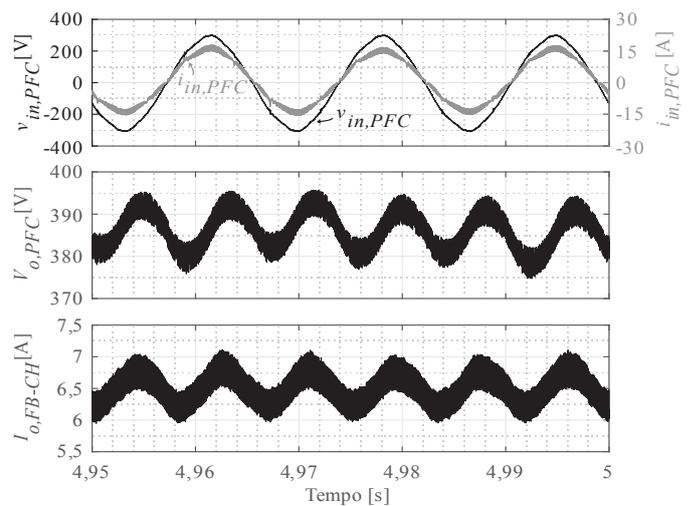


Fig. 17 - Formas de onda experimentais em regime do subsistema carregador da bateria.

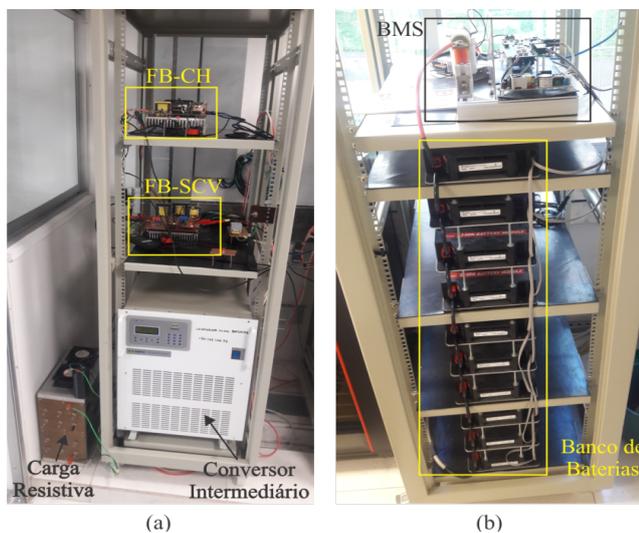


Fig. 16 - Elementos extras utilizados nos testes e banco de bateria utilizado.

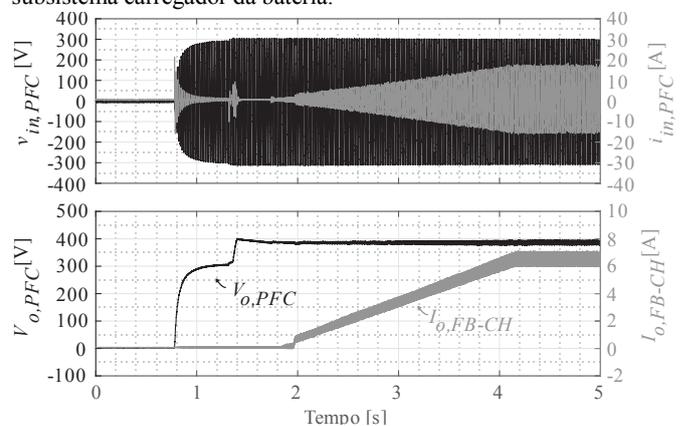


Fig. 18 - Formas de onda experimentais da partida do subsistema carregador da bateria.

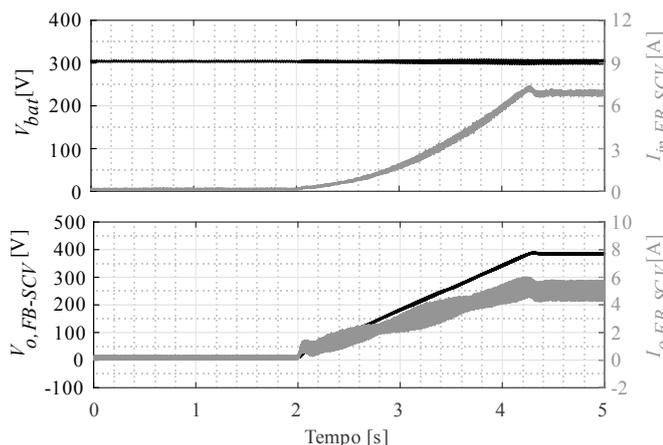


Fig. 19 - - Formas de onda experimentais da partida do conversor *full-bridge ZVS phase-shift SCV*.

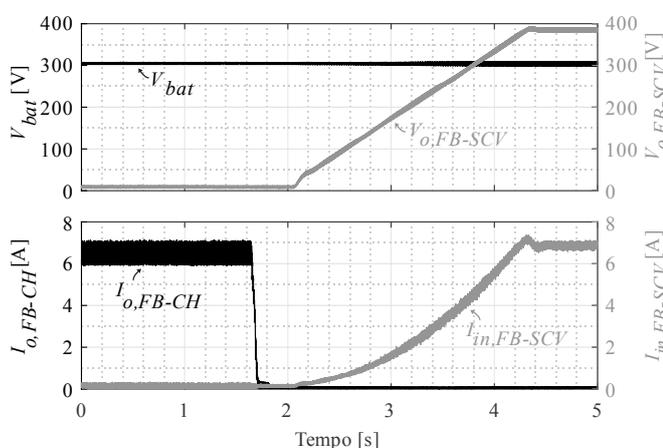


Fig. 20 - Formas de onda experimentais da transição entre o carregamento da bateria e a partida do conversor *full-bridge ZVS phase-shift SCV*.

VI. CONCLUSÃO

Neste artigo foi proposto um conceito de um sistema baseado em um conversor que é externo ao veículo elétrico e que integra as características de V2H. A configuração proposta tem a vantagem de dispensar o uso de conversores bidirecionais internos aos veículos elétricos reduzindo sua massa e complexidade dentro do veículo. Além disso, usando uma solução de dois estágios para conexão com a rede, há uma oportunidade para a integração da geração local de energia renovável, aprimorando as funcionalidades do sistema. O sistema foi implementado experimentalmente para verificar o funcionamento do sistema proposto, apresentando resultados similares aos da simulação numérica.

REFERÊNCIAS

[1] C. Liu, K. T. Chau, D. Wu, e S. Gao, "Opportunities and Challenges of Vehicle-to-Home, Vehicle-to-Vehicle, and Vehicle-to-Grid Technologies", in *Proc. IEEE*, vol. 101, no 11, p. 2409–2427, Nov. 2013.

[2] H. Turker and S. Bacha, "Optimal Minimization of Plug-In Electric Vehicle Charging Cost With Vehicle-to-Home and Vehicle-to-Grid Concepts," in *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 67, no. 11, pp. 10281-10292, Nov. 2018.

[3] L. Cheng, Y. Chang, e R. Huang, "Mitigating Voltage Problem in Distribution System With Distributed Solar Generation Using Electric Vehicles", in *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 6, no 4, p. 1475–1484, Oct. 2015.

[4] W. Kempton, S. Letendre, Electric vehicles as a new power source for electric utilities, *Trans. Res. D 2* (1997) 157.

[5] V. Monteiro, B. Exposto, J. C. Ferreira, e J. L. Afonso, "Improved Vehicle-to-Home (iV2H) Operation Mode: Experimental Analysis of the Electric Vehicle as Off-Line UPS", in *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 8, no 6, p. 2702–2711, Nov. 2017.

[6] X. Zhou, S. Lukic, S. Bhattacharya, e A. Huang, "Design and control of grid-connected converter in bi-directional battery charger for Plug-in hybrid electric vehicle application", in *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, p. 1716–1721, 2009.

[7] A. K. Verma, B. Singh, e D. T. Shahani, "Grid to vehicle and vehicle to grid energy transfer using single-phase bidirectional AC-DC converter and bidirectional DC-DC converter", in *International Conference on Energy, Automation and Signal*, p. 1–5, 2011.

[8] T. Bohn e H. Chaudhry, "Overview of SAE standards for plug-in electric vehicle", in *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT)*, p. 1–7, 2012.

[9] Chargehub Company. *Guide On How To Charge Your Electric Car With Charging Stations*. Disponível em: <<https://chargehub.com/en/electric-car-charging-guide.html>>. Acesso em: 20maio 2019.

[10] M. Yilmaz e P. T. Krein, "Review of Battery Charger Topologies, Charging Power Levels, and Infrastructure for Plug-In Electric and Hybrid Vehicles", in *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 28, no 5, p. 2151–2169, Maio 2013.

[11] "Níveis de Tensão - Abradee - Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica". [Online]. Disponível em: <<http://www.abradee.com.br/setor-de-distribuicao/niveis-de-tensao>>. Acesso em: 11set 2017.

[12] "Cell, Module, and Pack for EV Applications | Automotive Energy Supply Corporation". [Online]. Disponível em: <http://www.eco-aesc-lb.com/en/product/liion_ev/>. Acesso em: 11set 2017.

[13] "Green Car Congress: The Battery Pack for Mitsubishi's i MiEV". [Online]. Disponível em: <<http://www.greencarcongress.com/2008/05/the-battery-pac.html>>. Acesso em: 11set 2017.

[14] Beckett Energy Systems. *Beckett battery module demonstrates 10-year cycle life*. <<https://www.oemoffhighway.com/electronics/press->

release/12117948/beckett-battery-module-demonstrates-10year-cycle-life>. Acesso em: 23set. 2015.

- [15] Empresa de Pesquisa Energética, “Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica”, Jun. 2017.
- [16] J. Jiang e C. Zhang, Fundamentals and Application of Lithium-ion Batteries in *Electric Drive Vehicles John Wiley & Sons*, 2015.
- [17] D. S. Gautam, F. Musavi, M. Edington, W. Eberle, e W. G. Dunford, “An Automotive Onboard 3.3-kW Battery Charger for PHEV Application”, in *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 61, no 8, p. 3466–3474, Out 2012.
- [18] A. D. B. Lange, T. B. Soeiro, M. S. Ortmann, e M. L. Heldwein, “Three-Level Single-Phase Bridgeless PFC Rectifiers”, in *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 30, no 6, p. 2935–2949, Jun 2015.
- [19] X. Ruan e F. Liu, “An improved ZVS PWM full-bridge converter with clamping diodes”, in *IEEE 35th Annual Power Electronics Specialists Conference (IEEE Cat. No.04CH37551)*, vol. 2, p. 1476–1481, 2004.
- [20] R. F. Coelho, *Concepção, análise e implementação de uma microrrede interligada à rede elétrica para alimentação ininterrupta de cargas CC a partir de fontes renováveis*. 2013. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.
- [21] L. S. S. Pelegrino. *Sistema integrado para o controle de fluxo de potência entre veículo elétrico, rede elétrica pública e residência*. 2017. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.
- [22] L. Hutchinson, B. Waterson, B. Anvari and D. Naberezhnykh, "Potential of wireless power transfer for dynamic charging of electric vehicles," in *IET Intelligent Transport Systems*, vol. 13, no. 1, pp. 3-12, 2019.

DADOS BIOGRÁFICOS

Lucas Stéfano de Souza Pelegrino, possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (2014) e mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (2017). Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Conversão e Retificação da Energia Elétrica.

Marcelo Lobo Heldwein, possui graduação (1997) e mestrado (1999) em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e doutorado (2007) pelo Swiss Federal Institute of Technology (ETH Zurich). Atualmente é professor adjunto do Departamento de Engenharia Elétrica da UFSC. De 1999 a 2001 atuou como assistente de pesquisa no Instituto de Eletrônica de Potência (INEP), Florianópolis. De 2001 a 2003 foi engenheiro de P&D da Informat, trabalhando no projeto de fontes junto à Emerson Network Power. De 2003 a 2008 trabalhou no ETH Zurich na área de Eletrônica de Potência. Tem experiência na área de Eletrônica Industrial, atuando

principalmente nos seguintes temas: fontes de alimentação, EMC, conversores PWM trifásicos, conversores multiníveis, correção do fator de potência, modelagem e controle de conversores estáticos e sistemas de conversores estáticos distribuídos. É Senior Member do Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) e membro da Associação Brasileira de Eletrônica de Potência (SOBRAEP).

Gierri Waltrich, nascido em Joaçaba, Santa Catarina, Brasil, em 1979, possui graduação e mestrado pela Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, em 2007 e 2009, respectivamente, e doutorado pela Eindhoven University of Technology, Eindhoven, Países Baixos, em 2013, todos em Engenharia Elétrica. Atualmente é professor na Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil. Prof. Gierri é membro da Sociedade Brasileira de Eletrônica de Potência (SOBRAEP).